健常若年女性における椅子立ち上がり動作を用いた反応時間測定の信頼性と妥当性および地面反力との関連

Relationship between Reliability, Validity, and Measurement of Ground-reaction Force of Reaction Time by Employing Sit-to-stand Movement in Healthy Young Women

尾山 裕介¹⁾, 比留間 麗¹⁾, 小松晃太郎²⁾

Yusuke Oyama¹⁾, Urara Hiruma¹⁾, Kotaro Komatsu²⁾

要旨：本研究では、椅子立ち上がり（sit-to-stand：STS）動作を用いた反応時間測定の信頼性と妥当性および地面反力との関連性を検討することを目的とした。被験者は健常な若年女性42名（ 20.6 ± 0.8 歳）を対象とした。敏捷性の測定では、全身反応時間およびSTS反応時間を評価した。STS動作時の地面反力測定では、最大値体重比および地面反力立ち上がり率、足圧中心移動距離について評価した。その結果、STS反応時間測定の級内相関係数（Intraclass correlation coefficient：ICC）は高く、信頼性が確認された（ $ICC(1, 1) = 0.735$ ）。また、STS反応時間と全身反応時間に有意な関連が示された（ $r = 0.375$, $P = 0.014$ ）。しかし、地面反力との関連をみたところ、すべての地面反力変数と関連はみられなかった。以上のことから、STS反応時間測定の信頼性および妥当性は確認されたものの、地面反力との関連はみられない可能性が示唆された。

キーワード：反応時間、椅子立ち上がり動作、地面反力、転倒予防

Abstract: This study investigated the reliability and validity of measuring reaction time by employing the sit-to-stand (STS) movement and examined its relationship with ground-reaction force. The participants included 42 healthy young women (mean age 20.6 ± 0.8 years). Whole body reaction time and STS reaction time as a measure of agility were evaluated. The peak reaction force per body weight, rate of force development and center of pressure moving distance were evaluated to measure ground-reaction force during STS movement. The Intraclass correlation coefficient (ICC) for measuring the STS reaction time was high ($ICC(1, 1) = 0.735$), thus confirming the reliability of the measurement. However, a significant relationship was shown between the STS reaction time and whole body reaction time ($r = 0.375$, $P = 0.014$). However, when the relationship with the ground-reaction force was examined, no relationship was found with all the ground reaction force variables. These results indicate that the STS reaction time is reliability and validity, it was suggested that there may be no association with the ground reaction force.

Key words: reaction time, sit-to-stand movement, ground-reaction force, fall prevention

受付日：2021年7月19日，採択日：2021年9月14日

¹⁾ 桐蔭横浜大学スポーツ健康政策学部：〒225-8503 神奈川県横浜市青葉区鉄町1614番地

TEL：045-974-5839 E-mail：y.oyama@toin.ac.jp

Faculty of Culture and Sport Policy, Toin University of Yokohama

1614 Kuroganecho, Aoba, Yokohama, Kanagawa 225-8503, Japan

²⁾ 桐蔭横浜大学大学院スポーツ科学研究科

Graduate of sport science, Toin University of Yokohama

I. 緒言

転倒は様々な外的および内的要因が相互に作用して生じるとされている。外的要因には生活環境、内的要因には身体的要因が関わっており、加齢に伴って内的要因が大きく影響すると考えられる。内的要因の一つに加齢変化に伴う身体機能の低下が挙げられ¹⁾、筋力やバランス能力、歩行能力、敏捷性の低下が転倒の危険因子とされている^{2~4)}。また、アメリカスポーツ医学会⁵⁾は高齢者に対する運動処方ガイドラインの中で、筋力およびバランス能力を改善させる運動プログラムが転倒予防に有効であると報告しており、これらの身体機能に関する評価は欠かせない。

転倒は躓きやスリップといった外乱刺激によって生じることが多い⁶⁾。人は転倒しそうになったり、バランスを崩したりした場合、その刺激を認知して身体を反応させ、状況に応じた姿勢戦略を用いることで転倒を回避している。敏捷性は、ある刺激に対して身体の一部をすばやく動かし身体の位置変化や運動方向の変換を行うための能力⁷⁾とされ、転倒を回避するために身体を反応させる局面で発揮される。つまり、敏捷性が低下することで、状況に応じた姿勢戦略を用いることができず、転倒リスクが大きくなると推察される。田井中ら⁴⁾は、中高齢者において日常生活の転倒リスクと敏捷性の測定である全身反応時間測定に関連があると報告している。しかしながら、全身反応時間測定は光刺激に対して身体を反応させ、できるだけ素早く床から両足を離地するように跳躍動作を行う必要があり、虚弱高齢者や低体力者といった対象者には身体への負荷が大きいと考えられる。そのため、測定時に怪我のリスクも想定され、より安全に敏捷性を評価できる方法を確認する必要がある。

また、敏捷性によって適切な姿勢戦略を用いたとしても、自分自身の下肢で身体を支えることができないれば転倒が発生する可能性がある。転倒には下肢筋力やバランス能力が関連しており⁸⁾、高齢者を対象とした研究では椅子立ち上がり (sit-to-stand: STS) 動作によってこれらの身体機能が評価されている。特に、STS 動作時の地面反力を測定することで下肢筋力やバランス能力を定量化し、詳細に評価ができると考えられる。これまで、敏捷性と STS 動作時の地面反力変数の関連は確認されているものの⁹⁾、それぞれの身体機能について別々の測定が行われている。上述したように、実際の転倒回避の場面を考慮すると「刺激を認知して身体を反応させる」、「素早く適切な姿勢戦略

を用いる (敏捷性)」、「身体を支持する (下肢筋力)」といった一連の動きの中で敏捷性と STS 動作時の地面反力変数を捉える必要がある。

以上のことを踏まえ、下肢筋力やバランス能力と関連がある STS 動作を用いた敏捷性の評価を行うため、本研究では、STS 動作を用いた反応時間測定 (STS 反応時間測定) の信頼性と妥当性および地面反力との関連性を検討することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

本研究を基礎的研究と位置づけたこと、女性のほうが転倒リスクが大きい¹⁰⁾ことを踏まえて、被験者は健康な若年女性42名 (年齢: 20.6 ± 0.8 歳) を対象とした。被験者には事前に口頭と文書にて研究の目的および測定に関する説明を十分にいき、書面による同意を得た。本研究は桐蔭横浜大学倫理委員会の承認 (承認番号: I-29) を得て実施した。

2. 全身反応時間測定

全身反応時間測定には、全身反応時間測定器 (リアクション, T.K.K. 5408, 竹井機器工業株式会社製) を用いて、猪飼ら¹¹⁾の手法に基づいて実施した。被験者を圧力の検出できる測定マットの上に膝を軽く曲げさせた状態で立たせた。そして、2 m 前方の目線の高さに設置した光刺激発生装置から赤色光による合図を与え、光刺激を感じたら素早く跳躍動作を行うことを指示した。赤色光が発光してから被験者の両足が測定マットから離地するまでの時間を全身反応時間とした。測定は5試行実施し、最大値と最小値を除いた平均値を代表値とした。なお、事前に被験者の理解を深めるために、本試行の前に2試行の練習を行った。すべての測定は同一検者が行った。

3. STS 反応時間測定

STS 反応時間測定には、全身反応時間測定器および立ち上がりパワー測定器 (運動分析動作装置 zaRitz, BM-220, タニタ株式会社製) を用いた。被験者を全身反応時間の測定で使用した測定マットが敷かれた高さ40cmの椅子に座らせ、立ち上がりパワー測定器のプラットフォーム上に両足を置くように指示した (図1)。本測定器はSTS動作の地面反力から下肢筋力やバランス能力の評価を行うことができることが確認されている^{12, 13)}。サンプリング周波数は80Hzとした。STS

図1 STS 反応時間測定の開始姿勢

動作時に上肢の反動を使わないように胸の前で腕を組ませ、膝関節を100～110度屈曲（完全伸展位を0度）に保持した座位姿勢を開始肢位とした。そして、2m前方の目線の高さに設置した光刺激発生装置から赤色光による合図を与え、光刺激を感じたら最大努力にて素早く椅子から立ち上がり、その後、検者の合図で通常速度による着座動作を行わせた。赤色光が発光してから被験者の臀部が測定マットから離地するまでの時間をSTS反応時間とした。これらの起立－着座動作を1試行として、測定は連続して3試行実施した。なお、事前に被験者の理解を深めるために、本試行の前に2試行の練習を行った。すべての測定は同一検者が行った。

4. 地面反力変数

STS反応時間測定では、先行研究^{9,12,13)}に基づき、以下の地面反力の3変数を評価した（図2）。

1) 最大値体重比（Peak reaction force per body weight : F/w）

F/wは地面反力の最大値を体重で相対化した値で

(A) 地面反力の経時的変化

あり、STS動作時における鉛直方向の最大の踏み込みを反映する。3試行の平均値を代表値とした。

2) 地面反力立ち上がり率（Rate of force development : RFD）

RFDは単位時間あたりにおける地面反力の最大増加量である。本測定器のサンプリング周波数は80Hzであるため、1データ間の時間は12.5msであった。地面反力の最大増加を記録した1データ間（12.5ms）およびその前後3データ間（37.5ms）を含む計7データ間（87.5ms）の増加量から算出した。筋力発揮開始時点から筋力上昇時における筋力変化の平均勾配から算出した。3試行の平均値を代表値とした。

3) 足圧中心移動距離（center of pressure moving distance : COP 移動距離）

COP移動距離はSTS動作中における単位軌跡長（mm/sec）であり、STS動作時のバランス能力を反映する。地面反力の最大値であるF/wから地面反力が体重値に到達するまでの区間を用いて算出した。3試行の平均値を代表値とした。

5. 統計処理

試行間信頼性を検討するために全身反応時間およびSTS反応時間の3試行の測定値を用いて級内相関係数（Intraclass correlation coefficient : ICC）（1,1）を算出した。また、STS反応時間測定の妥当性を検討するためにSTS反応時間と全身反応時間の関連性を検討した。さらに、STS反応時間と地面反力変数の関連性を検討した。それぞれの関連性の検討にはPearsonの積率相関係数を算出し、相関分析を行った。

(B) COPの経時的変化

図2 地面反力変数

(a) 抜重地点, (b) 最大値体重比, (c) 体重値到達地点

F/w: Peak reaction force per body weight, RFD: Rate of force development, COP: Center of pressure

いずれの統計処理も有意水準は5%とした。

III. 結 果

被験者形態および各評価変数の結果を表1に示した。

全身反応時間の最大値と最小値を除いた3試行のICC (1, 1) は0.854, STS 反応時間の3試行のICC (1, 1) は0.735であった(表2)。

STS 反応時間と全身反応時間および地面反力変数との関連について表3に示した。STS 反応時間と全身反応時間は有意な相関関係がみられた ($r=0.375$, $P=0.014$)。しかしながら、地面反力変数の3変数とは有意な相関関係はみられなかった。

IV. 考 察

信頼性の検討として全身反応時間測定およびSTS 反応時間測定の3試行におけるICCを算出したところ、

全身反応時間測定が0.854, STS 反応時間測定が0.735であった。ICCは同一被験者に複数回測定したときの測定値がどの程度一致しているかを表す係数であり、0.7以上で良好とされている¹⁴⁾。本研究で提案したSTS 反応時間測定のICCは0.7以上であり、信頼性の良好な測定方法であると考えられる。また、大石ら¹⁵⁾は18~19歳の成人男性における全身反応時間測定のICCは0.846と示しており、本研究の全身反応時間測定のICCと同程度であった。そのため、本研究における対象者のICCが高く、特別、再現性の高い集団であった可能性は低いと考えられる。以上のことから、STS 反応時間測定の信頼性は高いと考えられるものの、全身反応時間測定のほうが高かったのは5試行のうち最大値と最小値を除いた3試行のICCを算出した影響が大きいと推察される。

妥当性の検討として全身反応時間とSTS 反応時間

表1 被験者形態および各評価変数の結果

		n = 42	
		平均値 ± 標準偏差	最小値 - 最大値
年齢	(歳)	20.6 ± 0.8	19 - 22
身長	(cm)	160.6 ± 5.9	149.2 - 172.3
体重	(kg)	55.5 ± 7.0	43.1 - 78.4
BMI	(kg/m ²)	21.5 ± 2.4	16.5 - 29.6
<全身反応時間測定>			
全身反応時間	(sec)	0.369 ± 0.050	0.251 - 0.498
<STS 反応時間測定>			
STS 反応時間	(sec)	0.619 ± 0.060	0.537 - 0.824
F/w	(kgf·kg ⁻¹)	1.40 ± 0.09	1.22 - 1.60
RFD	(kgf/sec)	660.2 ± 102.5	436.1 - 903.9
COP 移動距離	(mm/sec)	96.6 ± 23.8	66.1 - 177.1

STS: Sit to stand, F/w: Peak reaction force per body weight
RFD: Rate of force development, COP: Center of pressure

表2 全身反応時間とSTS 反応時間の級内相関係数

	1 試行目	2 試行目	3 試行目	ICC (1, 1)	95%CI
全身反応時間 (sec)	0.369 ± 0.055	0.369 ± 0.051	0.369 ± 0.051	0.854	0.771 - 0.913
STS 反応時間 (sec)	0.604 ± 0.062	0.628 ± 0.070	0.626 ± 0.065	0.735	0.605 - 0.836

全身反応時間は最小値と最大値を除く3試行(試行順に1~3試行目)

ICC: 級内相関係数, 95%CI: 95%信頼区間

表3 STS 反応時間と各評価変数の相関係数

	全身反応時間 (sec)	F/w (kgf·kg ⁻¹)	RFD (kgf/sec)	COP 移動距離 (mm/sec)
STS 反応時間 (sec)	0.375*	0.134	0.163	0.014

F/w: Peak reaction force per body weight, RFD: Rate of force development, COP: Center of pressure

* $P < 0.05$

の相関分析を行ったところ、有意な関連性が示された。敏捷性は、ある刺激に対して身体の一部をすばやく動かし身体的位置変化や運動方向の変換を行うための能力⁷⁾で、敏捷性を評価するために全身反応時間測定が実施されている⁴⁾。本研究の結果から跳躍動作に伴う全身反応時間測定でなくても、安全性の高い座位姿勢で実施するSTS反応時間測定で敏捷性を評価できる可能性が示唆された。しかしながら、全身反応時間とSTS反応時間に有意な関連性が示されたものの、相関係数は0.375と小さかった。一般的に反応時間は、反応開始時間（刺激発生後から動作開始するまでの時間）と筋収縮時間（動作開始後から動作終了するまでの時間）に分類される¹¹⁾。本研究で実施した全身反応時間やSTS反応時間の筋収縮時間は動作開始後、測定マットから両足または臀部が離地するまでの運動時間と考えられる。両測定とも単純反応を要することは共通しているため、反応開始時間には大きな違いがみられなかったものの、両測定の動作様式が異なることから、運動時間において関連がみられなかった可能性がある。全身反応時間測定では、比較的単純で小さな動きを伴う跳躍動作であるのに対して、STS動作反応時間測定では、複雑で大きな動きを伴うSTS動作である。STS動作は、体幹前傾開始から膝関節伸展開始までの体重移動相、膝関節伸展開始から体幹後傾開始までの移行相、体幹後傾開始から動作終了までの上昇相に分類されるように、身体重心の前後移動および上昇が求められる課題である¹⁶⁾。中でも、体重移動相がSTS反応時間に関連しており、体幹を前方へ傾斜させる速さや角度の影響が大きく、丸田¹⁷⁾は体幹前傾角度から5つのSTS動作に類型化しており、個々でSTS動作が異なることを報告している。本研究においても、体幹を前方へ傾斜させる速さや角度がSTS動作の体重移動相に要する時間に影響を与えていたかもしれない。以上のことから、全身反応時間とSTS反応時間の関連性はみられたものの、その程度は小さかったと推察される。

地面反力変数は筋力、起立・歩行能力、柔軟性、バランス能力、反応性、巧緻性といった多くの身体機能と関連し、中でもRFDが起立・歩行能力、反応性など下肢のダイナミックな動きが求められる身体機能と強い関連を示すことが報告されている⁹⁾。本研究では反応性であるSTS反応時間と地面反力変数の関連を検討したところ、すべての変数で有意な関連性はみられず、先行研究⁹⁾と異なる結果であった。その要因と

して、STS動作の開始時における合図の違いが考えられる。先行研究⁹⁾では、検者による合図後、被験者の任意のタイミングでSTS動作を開始することができ、前述した体重移動相（体幹前傾開始から膝関節伸展開始まで）において体幹を前傾させ、身体重心の前方移動を伴うSTS動作であったと推察される。STS動作は、座位姿勢時の重心位置を前方にある足部の支持基底面に移動させる必要があるため、体幹を前傾させて重心を前方に移動させることで安定したSTS動作が可能となる。一方で、本研究のSTS反応時間測定では臀部に測定マットを敷き、光刺激発生による合図後、可能な限り素早く立ち上がる課題であったため、体幹前傾角度が小さくなり体重移動相における身体重心の前方移動も小さかったと推察される。浅井ら¹⁸⁾は体幹前傾角度を制限したSTS動作では、通常のSTS動作に比べて股関節伸展モーメントの減少と膝関節伸展モーメントの増加が認められたと報告している。また、男性健常高齢者に素早い立ち上がりをさせたとき、STS動作中の股関節モーメントの最大値は支持基底面である足部に重心が収まっていない時期に生じたことが確認されている¹⁹⁾。したがって、STS動作の開始時における合図の違いによって、STS動作が変化することで地面反力変数にも影響を及ぼしていたのかもしれない。

本研究の限界として、第一にSTS動作時の体幹前傾角度について客観的に評価できていないことが挙げられる。体幹を前方へ傾斜させる速さや角度がSTS反応時間や地面反力変数に影響を及ぼすことを考慮し、ゴニオメーターや3次元動作分析装置などの機器を用いて詳細に分析する必要がある。第二に転倒との関連を検討できていないことが挙げられる。STS反応時間測定は、より安全に簡便な方法で転倒と関連のある敏捷性を評価できると考えられるものの、本研究では基礎的研究として健常な若年女性を対象とした。今後は高齢者を対象に転倒との関連を検討する必要がある。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、測定器をご提供いただいた株式会社タニタ開発部の皆さま、ならびに測定に参加された皆さまに感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 鈴木隆雄：転倒の疫学，日本老年医学会雑誌，2003，40，85-94.

- 2) 古名丈人, 島田裕之: 高齢者の歩行と転倒－疫学的調査から－, バイオメカニズム学会誌, 2006, 30, 132-137.
- 3) 加藤憲人, 黒澤和生: 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究, 理学療法科学, 2002, 17, 199-204.
- 4) 田井中幸司, 青木純一郎: 在宅高齢女性の転倒経験と体力, 体力科学, 2007, 56, 279-286.
- 5) Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Fiatarone Singh MA, et al.: ACSM position stand: Exercise and physical activity for older adults, Med Sci Sports Exer, 2009, 41(7), 1510-1530.
- 6) Gabell A, Simons MA, Nayak USL: Falls in the healthy elderly, predisposing causes. Ergonomics, 1985, 28, 965-975.
- 7) 山口宗明, 山田義久, 林田昌子: 敏捷性の測定方法, 理学療法, 2005, 22(1), 66-72.
- 8) Cadore EL, Rodríguez-Mañas L, Sinclair A, et al.: Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review, Rejuvenation Res, 2013, 16(2), 105-114.
- 9) 辻大士, 三ッ石泰大, 角田憲治・他: 地域在住高齢者を対象としたSTS動作時の地面反力と身体機能, 転倒経験, 転倒不安, 起居移動動作能力との関連性, 体力科学, 2011, 60(4), 387-399.
- 10) 榎本妙子, 山田陽介, 山田実・他: 地域在住自立高齢者における転倒リスクの関連要因とその性差 亀岡スタディ, 日本公衆衛生雑誌, 2015, 62(8), 390-401.
- 11) 猪飼道夫, 浅見高明, 芝山秀太郎: 全身反応時間の研究とその応用, Olympia, 1961, 7, 210-219.
- 12) Abe T, Tsuji T, Soma Y, et al.: Composite variable of lower extremity muscle strength and balance ability for evaluating risks of mobility limitation and falls in community-dwelling older adults, Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 2016, 5(3), 257-266.
- 13) 慎少帥, 藤井啓介, 馬靖宇・他: 要支援・要介護高齢者を対象としたSTS時の床反力と下肢筋力, 日常生活動作能力との関連性, 理学療法科学, 2017, 32(6), 881-887.
- 14) Jackson A, Jackson AS, Bell J: A comparison of alpha and the intraclass reliability coefficients, Research Quarterly for Exercise and Sport, 1980, 51, 568-571.
- 15) 大石健二, 佐藤孝之, 西山哲成: 幼児の運動能力測定項目としての全身反応時間の信頼性, 体育測定評価研究, 2012, 11, 25-33.
- 16) Millington PJ, Myklebust BM, Shambes GM: Biomechanical analysis of the sit-to-stand motion in elderly persons, Arch Phys Med Rehabil, 1992, 73, 609-617.
- 17) 丸田和夫: 立ち上がり動作時における体幹前傾姿勢の類型化, 理学療法科学, 2004, 19(4), 291-298.
- 18) 浅井葉子, 金子誠喜, 大津慶子: 椅子からの立ち上がり動作における体幹前傾角度と下肢関節モーメントとの関係, 日本保健科学学会誌, 2005, 8(1), 51-58.
- 19) 上條史子, 千代丸正志, 大川孝浩・他: 高齢者における素早い立ち上がり後のふらつき要因の検討, 理学療法科学, 2021, 36(4), 567-572.